متوفر على الموقع http://www.basra-science-journal.org

ISSN -1817 -2695

الاستلام 2-4-2017 ، القبول 18-9-2017

دراسة نظرية في الكالورنيات البرمية لنقطة كمية في مجال مغناطيسي:

حساب تيار الحرارة البرمي

ريمان جمال جاسم و جنان مجيد المخ

قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة البصرة، بصرة، العراق.

الملخص:

في هذا البحث قدمنا أنموذج حسابي لدراسة وحساب التيار الحراري البرمي والذي يعد مدخل لدراسة الخواص الكهروحرارية البرمية لنقطة كمية موضوعة بين قطبين غير مغناطيسيين. أذ أن هناك مجال مغناطيسي خارجي يؤثر على النقطة الكمية فقط حيث أن مواقع مستويات الطاقة للنقطة الكمية تكون مرتبطة بالمجال المغناطيسي المؤثر عليها. ولما كان بحثنا يهتم بالكالورنيات البرمية فأن الجهد الكيميائي للأقطاب سيتحدد بالانحياز البرمي المسلط على الأقطاب والانحدار في درجات الحرارة على الأقطاب. كما أن المعالجة لا تشمل درجات الحرارة القريبة من درجة حرارة كوندو والتي تكون عادة واطئة جدا في الأجهزة النانوية وأن قوة الاقتران بين النقطة الكمية وأي قطب لا تعتمد على البرم.

الكلمات المفتاحية: النقاط الكمية ، المواد الكهروحرارية، خصائص النقل البرمي، تيار الحرارة البرمي.

1 - المقدمة:-

تصف هندسة البرم عمليات السيطرة ومعالجة الأنظمة البرمية الكمية لتطوير الأجهزة والمواد. ويشمل هذا استخدام درجة الحرية البرم كمجس للظواهر المعتمدة على البرم. وبسبب الأهمية الأساسية للبرم للعمليات الفيزيائية والكيميائية ، فأن هندسة البرم تكون مناسبة لمدى واسع من التطبيقات العملية والتكنلوجية[1]. وخلال العشر سنوات الماضية جذب استكشاف المواد الكهروحرارية ذات الأداء العالي High performance الكثير من الاهتمام من الناحيتين الأكاديمية والتطبيقية. أذ أن التحدي لتطوير المواد الكهروحراريه ذات الأداء الفائق هو لتصميم العلاقة الوثيقة للمعاملات الفيزيائية الكهروحراريه للتوصيلية الكهربائية، ومعامل سيبك والتوصيلية الحرارية للأنظمة البلورية. أن التراكيب النانوية توفر فرصة لقطع الصلة بين النقل الكهربائي والنقل الحراري وذلك من خلال تقديم ميكانيكيات استطارة جديدة. لقد أظهرت التطورات في الكفاءة الكهروحرارية Thermoelectric Efficiency انه من الممكن السيطرة عليها عن طريق أخماد التوصيلية الحرارية الشبيكيه خلال تصميم التراكيب النانوية. أن كفاءة الأجهزة الكهروحرارية ترتبط بقوة مع منحنى الكفاءة Figure of merit للمواد الكهروحرارية. ولكن التوصيلية الحرارية وحدها يمكن أن تتغير ولها جزءان توصيلية حرارية بسبب الفونونات وتوصيلية حرارية بسبب الإلكترونات. ويمكن أخماد التوصيلية الحرارية بسبب الفونونات في التراكيب النانوية لغرض الحصول

على توصيلية كهربائية وشكل كفاءة أفضل[4-2]. على أية حال فأن شكل الكفاءة يمكن أن يزداد بكثافة الحالات حيث تعتمد كثافة الحالات على تركيب الحزمة للمواد. أن نقصان أبعاد المواد يسبب فروقات دراماتيكية في كثافة الحالات الإلكترونية بمعنى مواد صلدة 3D إلى أبار كمية 2D إلى أسلاك كمية 1D إلى نقاط كمية 0D والتي توفر فرص للتحكم بالمعاملات الفيزيائية بشكل مستقل. أن المواد المنخفضة الأبعاد low dimensional materials توفر طرق جديدة لمعالجه خصائص الإلكترون والفوتون لمادة معينه[7-5]. أن المواد الكهروحرارية يمكن أن تنتج القدرة الكهربائية (electrical power) مباشرة من تطبيق الفرق في درجة الحرارة. أن التطورات الأخيرة المعتمدة على المواد النانوية أظهرت تحسينات كبيره في أداء الأجهزة الكهروحرارية ومع ذلك فأن القياس الدقيق صعب للغاية. في هذا البحث قدمنا أنموذج حسابي يخص دراسة وحساب التيار الحراري البرمي والذي يعد مدخل لدراسة الخواص الكهروحرارية البرمية لنقطة كمية موضوعة بين قطبين غير مغناطيسيين وكما هو موضح في الشكل (1a) أذ أن هناك مجال مغناطيسي خارجي يؤثر على النقطة الكمية فقط. كما يوضح الشكل (1b) مخطط الطاقة للنظام المأخوذ بنظر الاعتبار في دراستنا. أذ أن E_d^{σ} و $E_d^{-\sigma}$ تمثل مستويات الطاقة الفعالة للنقطة الكمية وأن فاصلة الطاقة بينهما مرتبطة بالمجال المغناطيسي المؤثر عليها. أما μ_α فتمثل الجهد الكيميائي للقطب α الذي يحدد بالانحياز البرمي المسلط على الأقطاب أو الانحدار في درجات الحرارة على الأقطاب علما بأن الأنموذج الحسابي الذي اعتمدناه في دراستنا يأخذ بنظر الاعتبار ما يلي:-

1 – لا تشتمل المعالجة درجات حرارة قريبة من درجة حرارة كوندو والتي تكون عادة واطئة جدا للأجهزة النانوية.

2 – يرتبط موقع مستوي طاقة النقطة الكمية المؤثر بطاقة كولوم للتبادل Coulomb Correlation energy على النقطة الكمية.

3 – تحدد مواقع مستويات الطاقة الفعالة للنقطة الكمية فقط بالمجال المغناطيسي المؤثر.

4 – لا تعتمد قوة الاقتران Coupling Strenght بين النقطة الكمية وأي قطب على البرم، علما بأن اعتمادها على البرم يمكن معالجته في أنموذجنا الحسابي.

2- الأنموذج الحسابي:-

يعطى الهاملتونين الخاص بنقطة كمية مقترنة الى قطبين بهاملتونين أندرسون المعروف (Anderson Impurity Hamiltonian) والذي يعطى بما يلي[8]:-

$$H = \sum_\sigma E_d^\sigma n_d^\sigma + U n_d^\sigma n_d^{-\sigma} + \sum_{k\alpha,\sigma} E_{k\alpha} C_{k\alpha}^{\sigma+} C_{K\alpha}^{\sigma} + \sum_{k\alpha,\sigma}(V_{k\alpha} C_{k\alpha}^{\sigma+} C_d^\sigma + V_{k\alpha}^* C_{k\alpha}^{\sigma+} C_{k\alpha}^\sigma \quad (1)$$

يمثل الحدين الأول والثاني جزء الهاملتونين الذي يخص النقطة الكمية حيث أن E_d^σ يمثل مستوى طاقة النقطة الكمية للبرم σ ، بمعنى أن $E_d^\sigma = E_d - \sigma h$.حيث E_d يمثل أعلى مستوى طاقة مشغول في النقطة الكمية والذي يكون موقعه متعلق بخصائص النقل ، σ تمثل برم الأكترون σ=+1 البرم بأتجاه الأعلى و $\sigma = -1$ للبرم بأتجاه الأسفل . وأخيراً h تمثل فاصلة زيمان (h=gμ$_B$B) g يمثل العامل (g-factor) و μ_B مغناطيس بور Bohr Magneton و B المجال المغناطيسي المؤثر[9] . أما $n_d^\sigma = C_d^{\sigma+} C_d^\sigma$ فتمثل عدد أشغال النقطة الكمية المقابل للمستوي E_d^σ. يمثل C_d^σ و $C_d^{\sigma+}$ مؤثري الخلق والهدم للإلكترونات ذات البرم σ على النقطة الكمية وعلى التوالي . وتمثل U طاقة شحن كولوم Coulomb charging energy للنقطة الكمية [10] حيث أن $E_d = \mu - \frac{U}{2}$ ويمثل μ(=0) الجهد الكيميائي في حالة الاتزان وعليه فان E_d يمثل

مستوي الطاقة عند الاتزان بمعنى في حالة عدم وجود فولتية انحياز. كما يمكن التحكم بموقع E_d عن طريق استخدام فولتية بوابة (V_g) gate voltage بمعنى $E_d \Rightarrow E_{d+}eV_g$.

أن الحد الثالث من المعادلة (1) يمثل جزء الهاملتونين الذي يخص الأقطاب. يمثل $E_{k\alpha}$ مستوى الطاقة k_α في حزمة الطاقة للقطب α , حيث ان k_α يمكن ان تمثل مجموعة الأعداد الكمية المقابلة للمستوي في حزمة الطاقة α . يمثل $C_{k\alpha}^{\sigma}$ و $C_{k\alpha}^{\sigma+}$ مؤثري الخلق والهدم للالكترونات ذات الزخم k_α والبرم σ في القطب α(=L,R) . حيث يشير R الى القطب الأيمن Right Lead و L الى القطب الأيسر Left Lead. الحد الأخير من العلاقة (1) يمثل جزء الهاملتونين الذي يخص تفاعل الاقتران Coupling Interaction بين النقطة الكمية والأقطاب. يمثل $V_{k\alpha}$ قوة تفاعل الاقتران. أن قوة الاقتران هذه ترتبط بدالة التهجين hybridization function وفقاً للعلاقة التالية:-

$$-i\Gamma_\alpha = \sum_{k\alpha} \frac{|V_{k\alpha}|^2}{(E - E_{k\alpha} + i\delta)} \qquad (2)$$

تمثل Γ_α دالة التهجين لمستوي طاقة النقطة الكمية مع مستويات الطاقة في حزمة الطاقة للقطب α. في دراستنا هذه افترضنا أن Γ_α لا يعتمد على الطاقة وهذا التقريب يصح عندما تكون حزم الطاقة في الأقطاب R و L حزم عريضة Wide Bands وبكثافة حالات ثابتة. أن دالة التهجين الكلية تعطى بما يلي: -

$$\Gamma = \sum_\alpha \Gamma_\alpha \qquad (3)$$

من المعروف انه لتحديد الخواص الكهروحرارية المعتمدة على البرم لنقطة كمية محصورة بين قطبين كان لابد أولا من تحديد خصائص النقل البرمي وذلك بحساب تيار البرم. ويعطى التيار البرمي I^σ للقناة البرمية σ المار في النقطة الكمية بسبب وجود انحياز برمي بما يلي[11] -:

$$I^\sigma = \frac{e}{h} \int dE\, [f_L^\sigma(E) - f_R^\sigma(E)]\, \mathcal{T}^\sigma(E)$$

(4)

تمثل e شحنة الألكترون و h ثابت بلانك والرمز $\mathcal{T}^\sigma(E)$ يمثل دالة النفاذية transmission function للالكترونات ذات البرم σ وهي تعطى كما يلي [12] :-

$$\mathcal{T}^\sigma(E) = \pi \frac{2\Gamma_R\Gamma_L}{\Gamma_R+\Gamma_L} A^\sigma(E) \qquad (5)$$

تمثل كثافة الحالات على النقطة الكمية بوجود $A^\sigma(E)$ الأقطاب وترتبط بدالة كرين G_r^σ Retarded Green Function وفقا للعلاقة التالية[9 -:

$$A^\sigma(E) = -\frac{1}{\pi} \operatorname{Im} G_r^\sigma(E) \qquad (6)$$

حيث أن :-

$$G_r^\sigma(E) = \frac{1}{E - E_d^\sigma + i\Gamma} \qquad (7)$$

أما $f_\alpha^\sigma(E)$ فتمثل دالة توزيع فيرمي – ديراك للقطب α في حالة اللاأتزان :- وللقناة البرمية σ

$$f_\alpha^\sigma(E, T_\alpha) = \frac{1}{e^{(E-\mu_\alpha^\sigma)/K_B T_\alpha + 1}} \qquad (8)$$

ثابت k_B تمثل الجهد الكيميائي المعتمد على البرم، μ_α^σ تمثل درجة حرارة القطب α. T_α بولتزمن و يمكن أن نكتب (5 - 8) وبالاستفادة من العلاقات العلاقة التالية:-

$$\mathcal{T}^\sigma(E) = \pi \frac{2\Gamma_R\Gamma_L}{\Gamma_R+\Gamma_L} \frac{\Gamma}{(E-E_d^\sigma)^2+\Gamma^2} \qquad (9)$$

أما تيار الحرارة I_Q heat current من أصل الكتروني فيعطى بما يلي [11 -:

$$I_Q = \frac{1}{h}\sum_\sigma \int dE(E-\mu)[f_L^\sigma(E, T_L) - f_R^\sigma(E, T_R)]\mathcal{T}^\sigma(E) \qquad (10)$$

يمكن إعادة كتابة العلاقة (10) كالاتي: -

$$I_Q = \sum_\sigma I_Q^\sigma \qquad (11)$$

حيث أن:-

$$I_Q^\sigma = \frac{1}{h}[I_{QL}^\sigma - I_{QR}^\sigma] \qquad (12)$$

وباستخدام تمديد سمرفيلد يمكن إيجاد صيغة $I_{Q\alpha}^\sigma$ -:

$$I_{Q\alpha}^{\sigma} = \frac{2\Gamma_R\Gamma_L}{\Gamma_R+\Gamma_L}\left\{\frac{\Gamma}{2}\ln\frac{(\mu_\alpha^\sigma - E_d^\sigma)^2+\Gamma^2}{(-2\beta - E_d^\sigma)^2+\Gamma^2} + E_d^\sigma\left[\tan^{-1}\frac{(\mu_\alpha^\sigma - E_d^\sigma)}{\Gamma} - \tan^{-1}\frac{(-2\beta - E_d^\sigma)}{\Gamma}\right] + \frac{\pi^2}{6}(K_BT_\alpha)^2\frac{\Gamma}{(\mu_\alpha^\sigma - E_d^\sigma)^2+\Gamma^2}\right\} + \frac{\pi^2}{6}(K_BT_\alpha)^2\mathcal{T}^\sigma(\mu_\alpha^\sigma)\left\{1 - 2\frac{(\mu_\alpha^\sigma - \mu)}{\Gamma}(\mu_\alpha^\sigma - E_d^\sigma)\mathcal{T}^\sigma(\mu_\alpha^\sigma)\right\}$$

(13)

وباستخدام العلاقات(12) و(13) يمكن حساب تيار الحرارة للشحنة :-

$$I_{QC} = I_Q^\sigma + I_Q^{-\sigma} \qquad (14)$$

وكذلك تيار الحرارة للبرم: -

$$I_{QS} = I_Q^\sigma - I_Q^{-\sigma} \qquad (15)$$

أن صيغة تيار الحرارة البرمي تعتمد على:-

1- موقع مستوي الطاقة المؤثر للنقطة الكمية E_d بالنسبة لمرجع الطاقة $\mu = 0$.

2- قوى الاقتران بين النقطة الكمية والأقطاب غير المغناطيسية والمتمثلة بمعدلات النفق Γ_L وΓ_R الغير معتمدة على البرم.

3- مواقع مستويات طاقة النقطة الكمية $E_d^{-\sigma}$ و E_d^σ المرتبطة بالمجال المغناطيسي المسلط على النقطة الكمية والذي يعد كفولتية بوابة.

4- الانحياز البرمي المسلط على الأقطاب.

5- درجة حرارة الأقطاب بمعنى الانحدار الحراري المسلط.

3- الحسابات والنتائج:-

ولدراسة خصائص النقل بشكل عام سيتم في هذه الفقرة حساب التيارات المذكورة أعلاه واستعراضها كدالة للأنحياز في البرم . أن اعتماد الجهود الألكتروكيميائية Electro-chemical potential في الأقطاب على البرم (وفي حال عدم وجود الأنحياز في الشحنة وكما هو موضح في الشكل (1) يمكن أن يأخذ الصيغ التالية: -

$$\mu_L^\sigma = eV_s \quad ; \quad \mu_L^{-\sigma} = -eV_s$$
$$\mu_R^\sigma = -eV_s/2 \quad ; \quad \mu_R^{-\sigma} = eV_s/2$$

فيما يلي سيتم دراسة كافة المعاملات المأخوذه بنظر الاالأعتبار في المعالجة وتأثيرها في حساب تيار الشحنة والبرم

والحرارة حيث ستكون درجة حرارة القطب الأيمن $T_R =$ 200 K ودرجة حرارة القطب الأيسر $T_L =$ 400K.

أما مستويات طاقة النقطة الكمية E_d^σ و E_d^σ فتحدد بالطاقة h التي كانت مساوية eV (0.05,0.1,0.15,0.2). كما أن معدل النفق سيكون مساوي أولا الى 0.04 eV . حيث سيتم استعراض نتائجنا الخاصة بحساب مركبات تيار الحرارة $I_\alpha^{\pm\sigma}$ وكذلك تيار الحرارة لقناتي البرم σ و $-\sigma$ بالإضافة الى تيار الحرارة للشحنة I_{QC} وتيار الحرارة للبرم I_{QS} كدالة لأنحياز البرم وللمعاملات المذكورة أعلاه.

توضح الأشكال (5 - 2) حساباتنا الخاصة بتيار الحرارة عندما يكون $\Gamma_L = \Gamma_R = 0.04\ eV$ و $E_d = 0.04$ eV ولقيم h المختلفة ، ويمكن أيجاز النتائج بما يلي:-

1 - لقيمة محددة من قيم h يكون سلوك $I_{QL}^{-\sigma}$ معاكس لسلوك $I_{QR}^{-\sigma}$ مع قطبية الانحياز البرمي

بينما تكون منحنيات كل من I_{QL}^{σ} و I_{QR}^{σ} متناظرة مع تغيير قطبية الأنحياز البرمي.

2 – يكون تيار الحرارة للقناة البرمية σ تقريبا متناظره مع تغيير قطبية فولتية الانحياز. وهي نتيجة منطقية تتفق مع ما جاء في النقطة (1) أعلاه بينما نلاحظ أن قيم تيار الحرارة للقناة البرمية σ – تكون سالبة عندما تكون فولتية الأنحياز البرمي موجبة والعكس بالعكس. أن منحنى تيار الحرارة للقناة البرمية σ والقناة البرمية σ – لا يكون خطي ولكل قيم الأنحياز البرمي.

3 – الواضح من الشكل (2) أن سلوك كل من I_{QC} و I_{QS} يكون درجي وبشكل واضح وبالأخص حول قيمة الأنحياز البرمي المساوية الى صفر.

4 – أن تيار الحرارة البرمي $|\ I_{QS}\ |$ يزداد مع زيادة فولتية الأنحياز البرمي $|\ eV_S\ |$ حيث يكون $I_Q^{\sigma} > I_Q^{-\sigma}$ لكل قيم eV_S الموجبة ويكون $I_Q^{-\sigma} > I_Q^{\sigma}$ لكل قيم eV_S السالبة.

5 – مع زيادة قيمة h لا تبقى كل الملاحظات أعلاه صحيحة حيث نلاحظ أنه لقيم eV_S الموجبة يكون $I_{QR}^{-\sigma} > I_{QL}^{-\sigma}$ ويكون $I_{QR}^{\sigma} > I_{QR}^{\sigma}$ والعكس بالعكس. كما نلاحظ أن هنالك مدى محدد من قيم eV_S تتساوى فيها $I_{QL}^{-\sigma}$ و $I_{QR}^{-\sigma}$ كما أن هنالك مدى محدد من قيم eV_S تتساوى فيها I_{QL}^{σ} و I_{QR}^{σ} ، هذه المديات تزداد مع زيادة eV_S .

6 – تزداد قيم مركبات تيار الحرارة للقنوات البرمية المختلفة مع زيادة h. والواضح أن هذه المديات تزداد مع زيادة h.

7 – هنالك قيمة محددة لـ eV_S يكون فيها $I_Q^{\sigma} = I_Q^{-\sigma}$ هذه النقطة تزاح بأتجاه قيم eV_S الأكثر سالبيه مع زيادة h. موقع هذه النقطة على محور eV_S يكون مقارب لقيمة h.

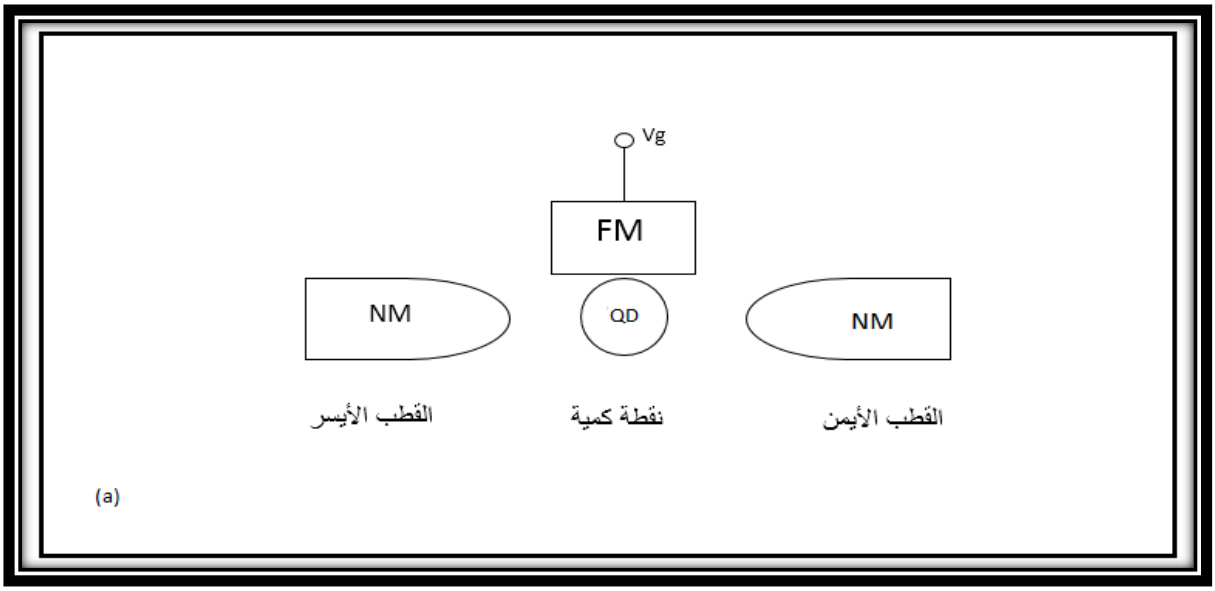
8 – أن سلوك تيار الحرارة للشحنة I_{QC} بشكل عام لا يتغير مع تغير h ولكنه يزداد مع زيادة h. وذلك لأن قيم تيارات القنوات البرمية σ و σ – تزداد مع زيادة h وبالأخص لقيم eV_S ذات القطبية السالبة.

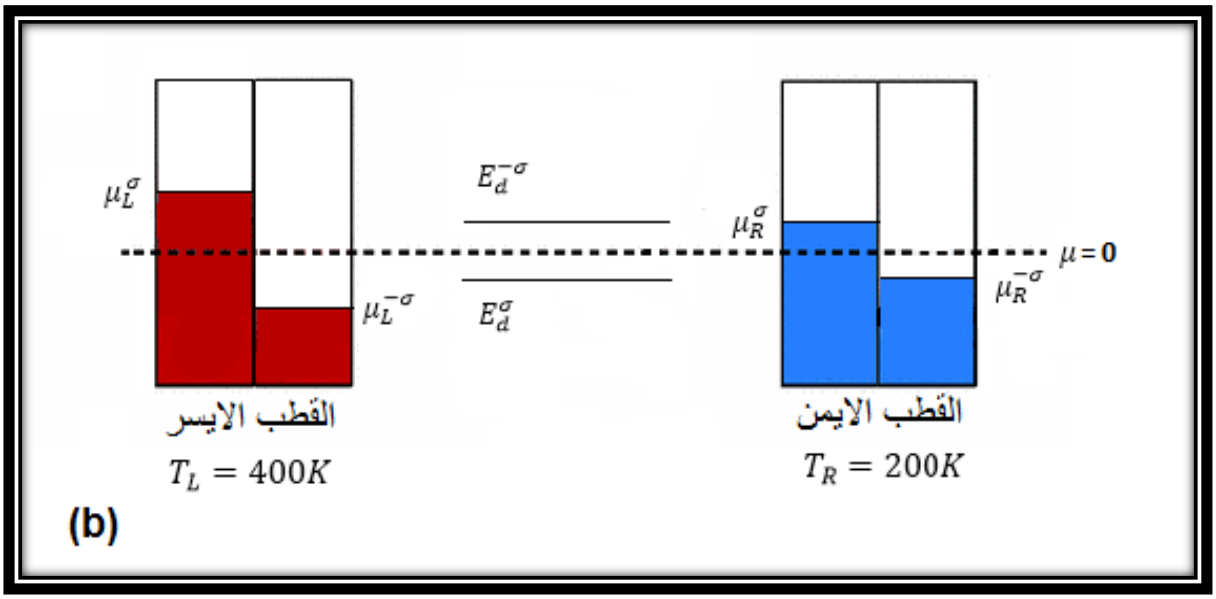
9 – أما سلوك تيار الحرارة البرمي I_{QS} فهو مختلف أذ يحتوي منحنى I_{QS} على مدى لقيم eV_S تقل فيها قيم I_{QS} على الرغم من زيادة eV_S ، هذا المدى يزداد مع زيادة h.

عندما يكون $E_d = -0.04\ eV$ ولقيمة $\Gamma_L = \Gamma_R =$ $0.04\ eV$ نفسها يتضح أن سلوك المركبات مع eV_S يختلف وكما هو موضح في الأشكال (6 - 9) هذه الأشكال توضح أن تصرف منحنيات I_{QL}^{σ} يأخذ نفس تصرف $I_{QL}^{-\sigma}$ و I_{QR}^{σ} يأخذ نفس تصرف $I_{QR}^{-\sigma}$ الخاص بالحسابات عندما $E_d = 0.04eV$.وعلية يكون $I_Q^{-\sigma} > I_Q^{\sigma}$ لقيم eV_S الموجبة بينما $I_Q^{\sigma} > I_Q^{-\sigma}$ لقيم eV_S السالبة. وبمقارنة الأشكال الخاصة بتيار الحرارة للشحنة نلاحظ أن قيم التيار تكون صورة مقلوبة لتيار الحرارة للشحنة عندما $E_d = 0.04\ eV$.

4 – الاستنتاجات:-

بالاعتماد على كل المظاهر الفيزيائية التي وردت في حساباتنا يمكن أن نستنتج أن الأنموذج تضمن العديد من المعاملات المهمة التي تدخل في موضوع الكالورنيات البرمية وبالأخص الانحدار الحراري على الأقطاب الذي يمكن فحص تأثيره على كل الخصائص الوظيفية للجهاز ولأي قيمة من قيم الانحدار الحراري. حيث يمكن التحكم بتيار الحرارة وبقناة برمية محدده بحيث يمكن جعلها تسود أو تنتهي وذلك عن طريق تغيير كل المعاملات الأخرى المرتبطة بالكالورنيات البرمية كالمجال المغناطيسي وموقع مستوي الطاقة المؤثر للنقطة الكمية بالنسبة للجهد الكيميائي الذي يتغير وفقا للانحياز البرمي.

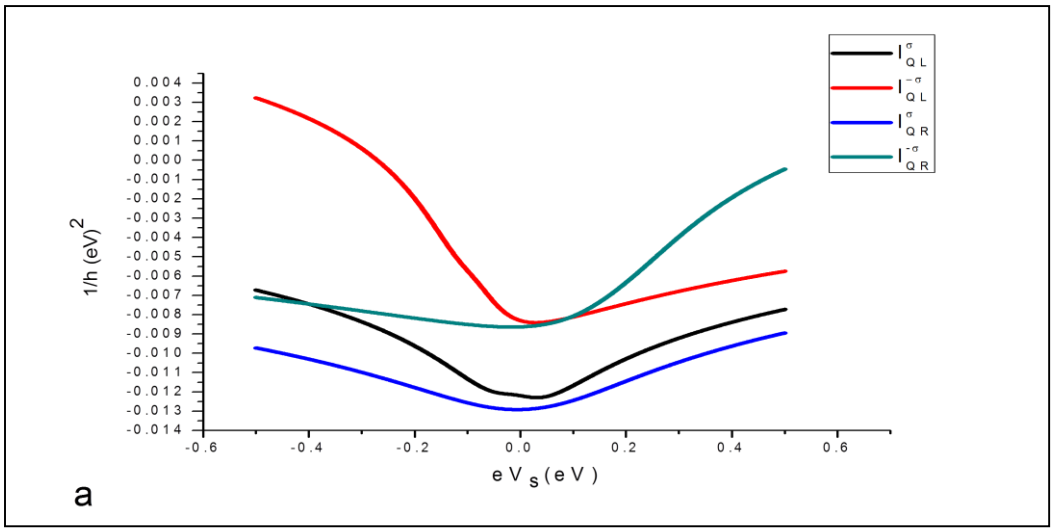


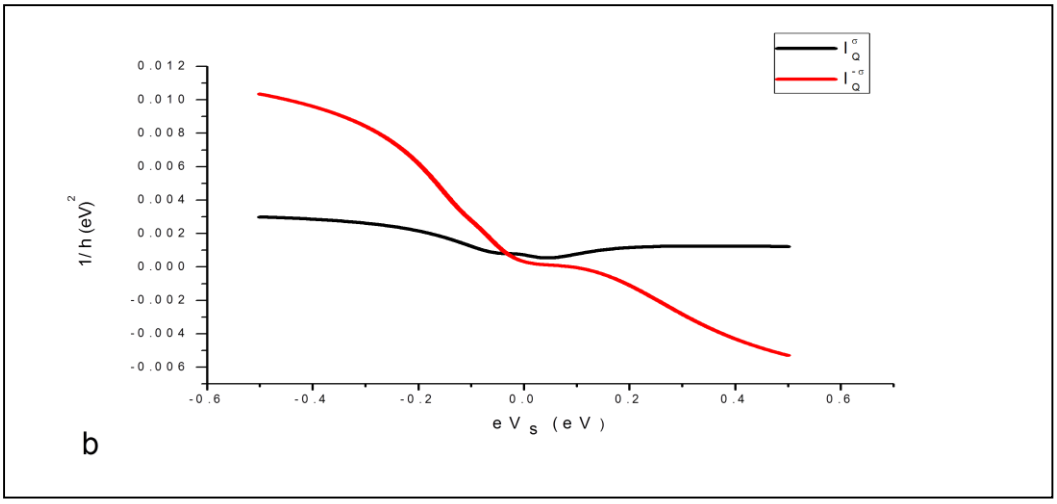


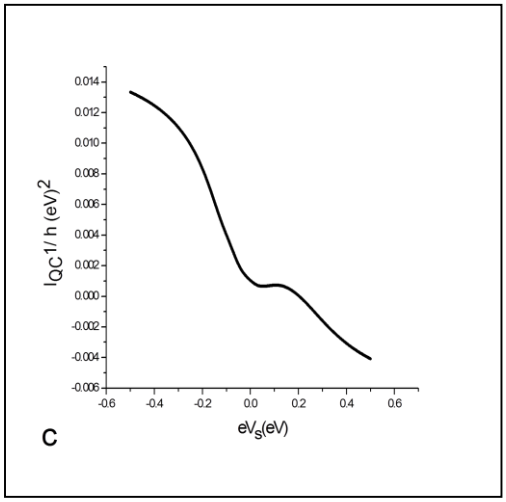
الشكل (1) يوضح (a) نقطة كمية تحت تأثير مجال مغناطيسي موضوعة بين قطبين اعتياديين.

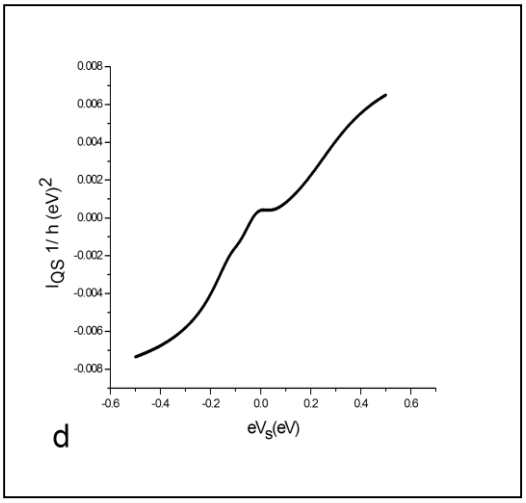
(b) مخطط الطاقة للجهاز المأخوذ بنظر الاعتبار في دارستنا في حالة

وجود الأنحياز البرمي.

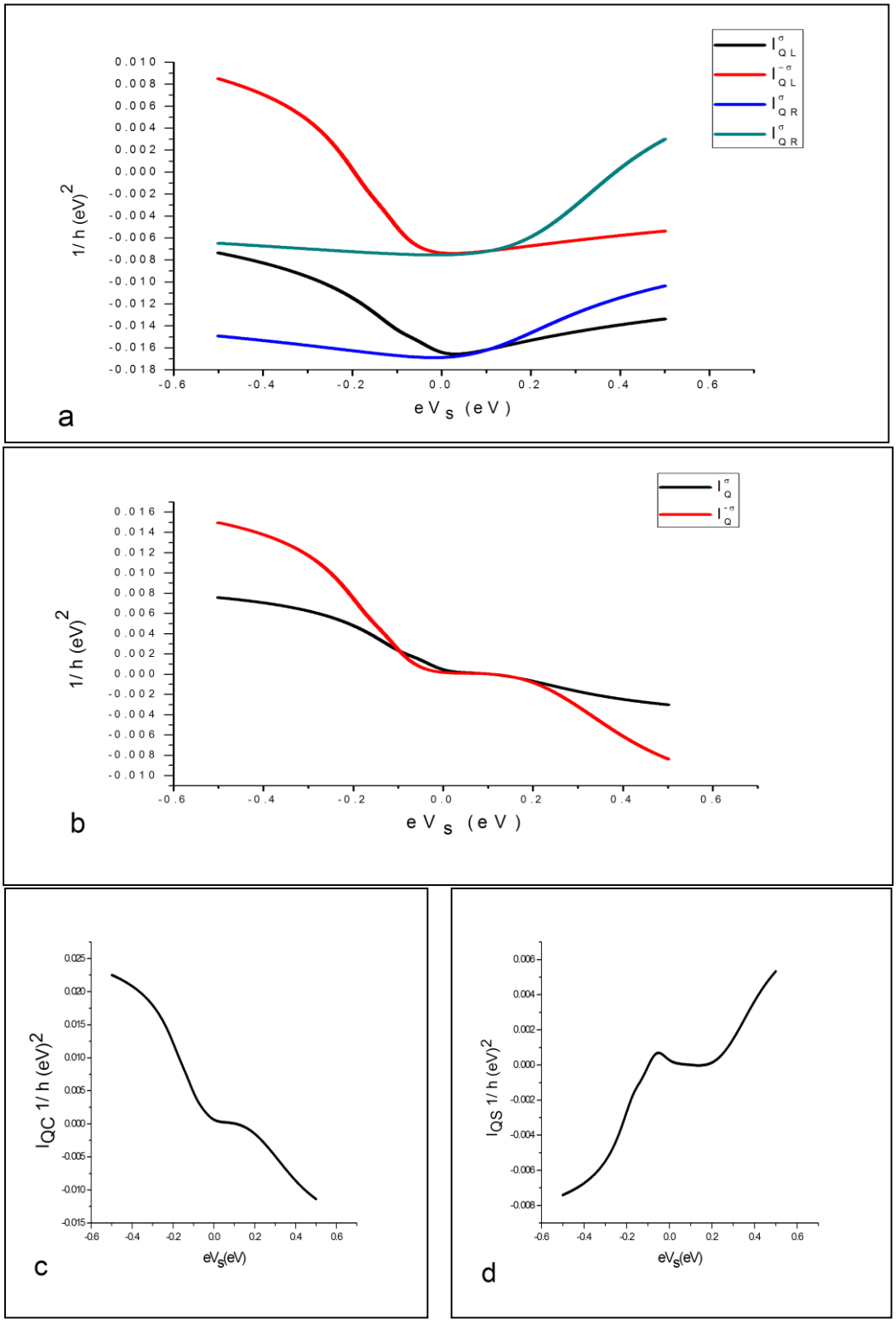




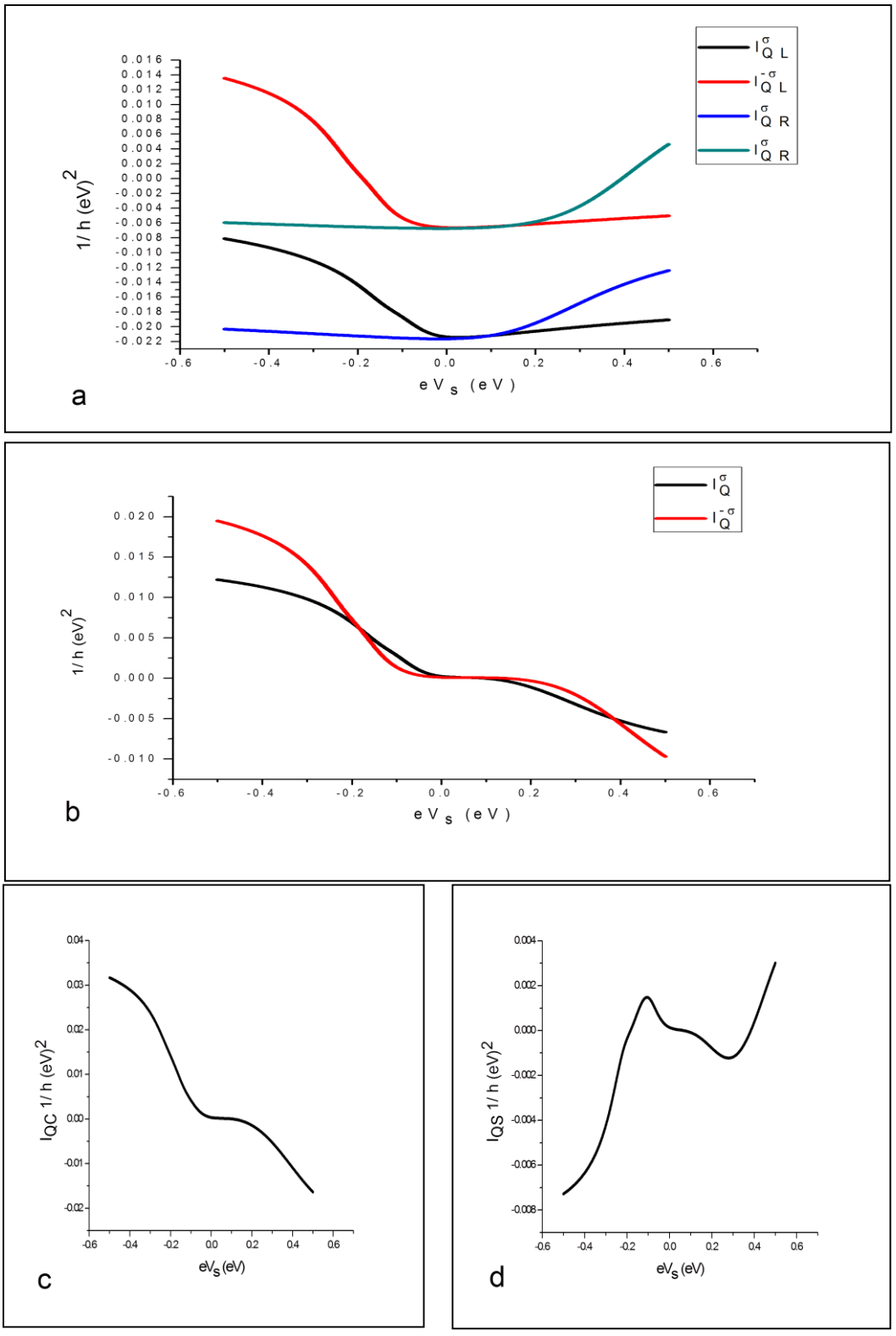




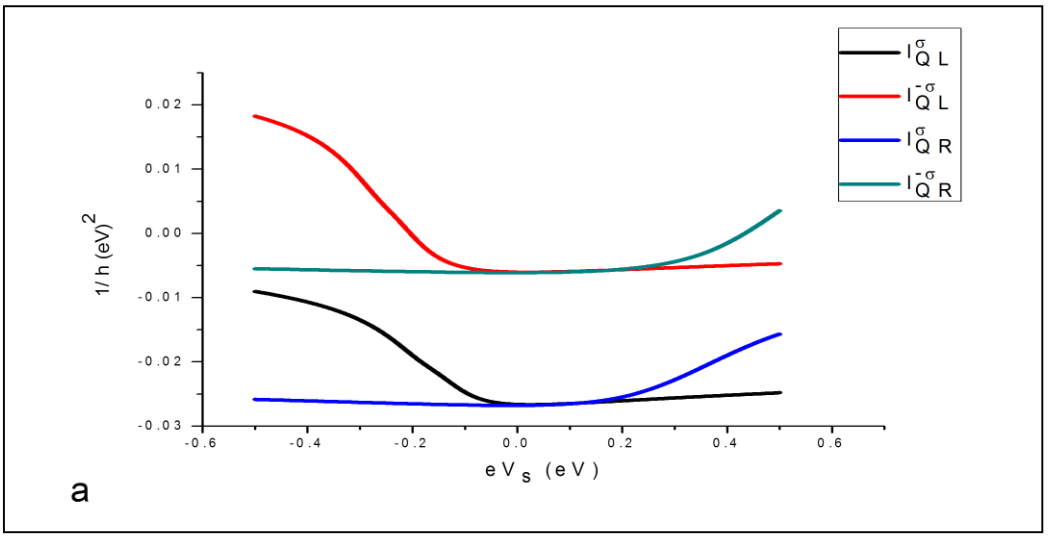
الشكل (2): (a) مركبات التيار $I_{Q\alpha}^{\pm\sigma}$. (b) مركبات قناتي البرم للحرارة $I_{Q}^{\pm\sigma}$. (c) تيار الحرارة للشحنة . (d) تيار الحرارة للبرم عندما $E_d = 0.04\ eV$ و $\Gamma_L = \Gamma_R = 0.04\ eV$ و $T_R = 200K$ و $T_L = 400\ K$ و $h =$ $0.05\ eV$.

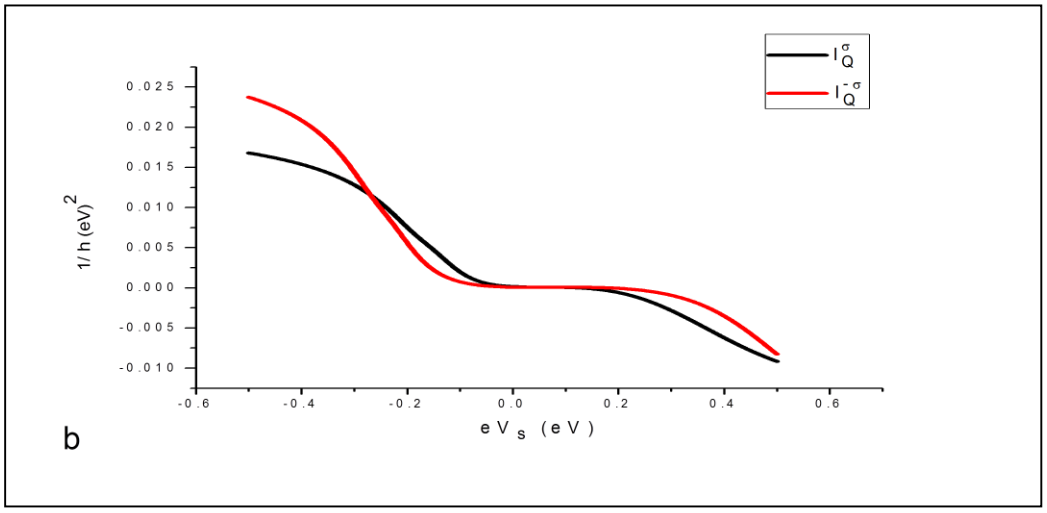


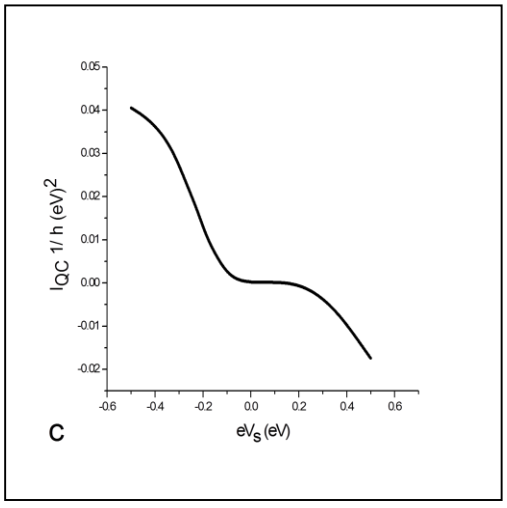
الشكل (3): (a) مركبات التيار $I_{Q\alpha}^{\pm\sigma}$. (b) مركبات قناتي البرم للحرارة $I_{Q}^{\pm\sigma}$. (c) تيار الحرارة للشحنة . (d) تيار الحرارة للبرم عندما $E_d = 0.04\ eV$ و $\Gamma_L = \Gamma_R = 0.04\ eV$ و $T_R = 200K$ و $T_L = 400\ K$ و $h = 0.1\ eV$.

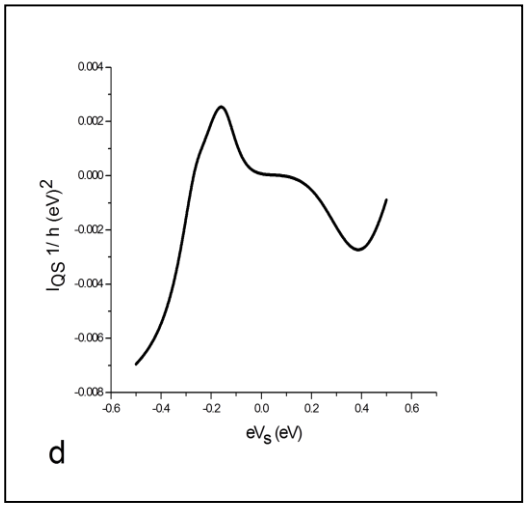


الشكل (4): (a) مركبات التيار $I_{Q\alpha}^{\pm\sigma}$. (b) مركبات قناتي البرم للحرارة $I_{Q}^{\pm\sigma}$. (c) تيار الحرارة للشحنة . (d) تيار الحرارة للبرم عندما $E_d = 0.04\ eV$ و $\Gamma_L = \Gamma_R = 0.04\ eV$ و $T_R = 200K$ و $T_L = 400\ K$ و h = $0.15\ eV$.

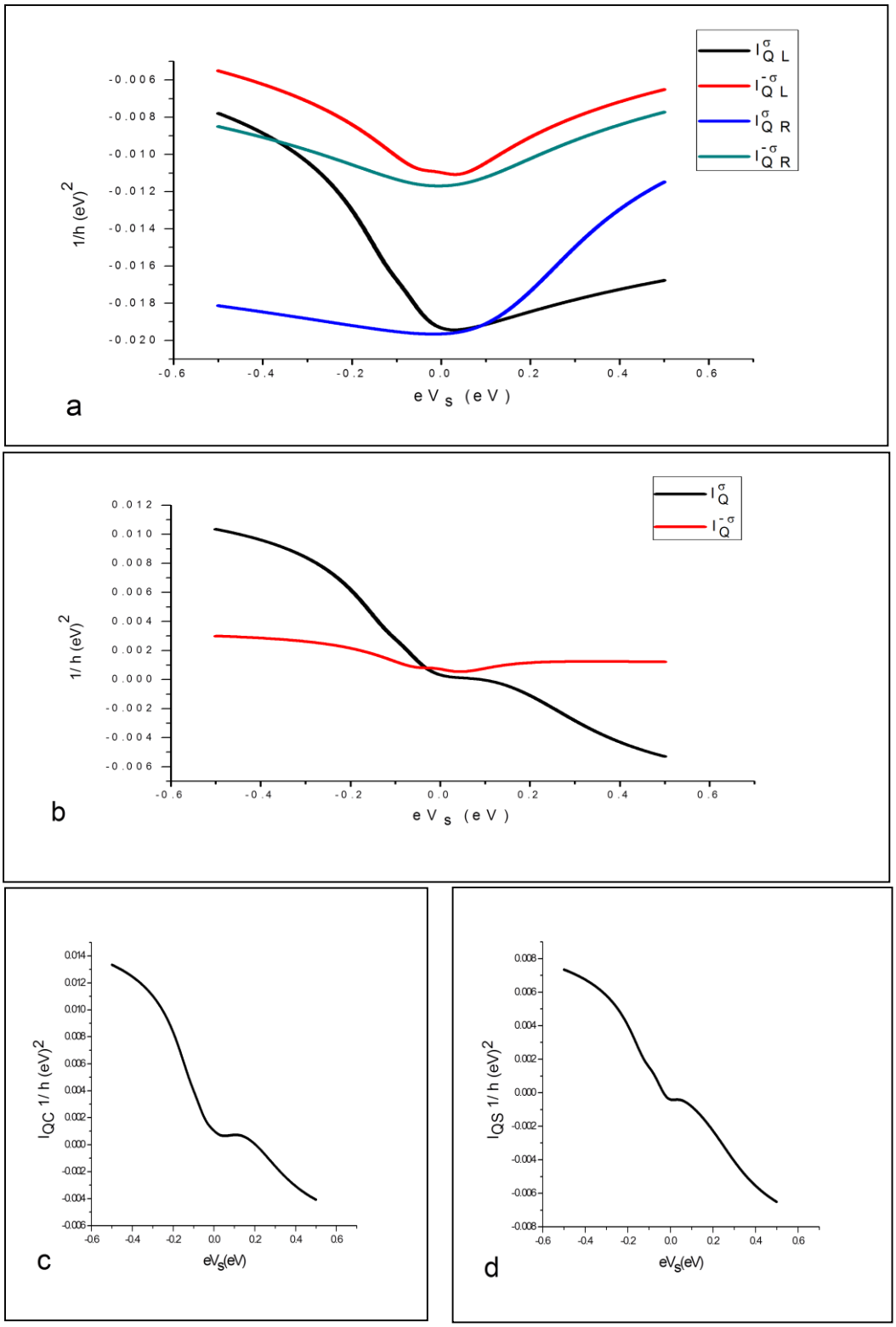




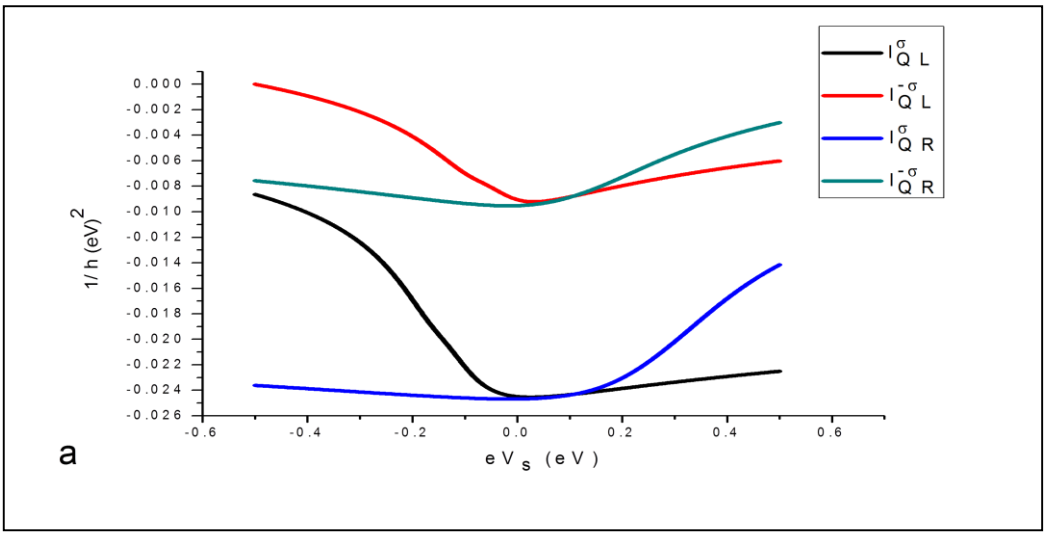


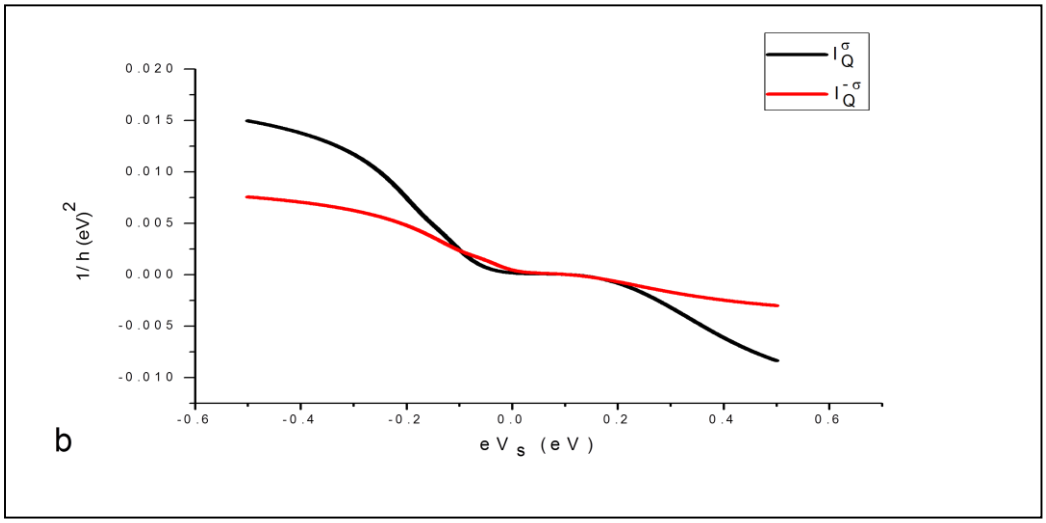


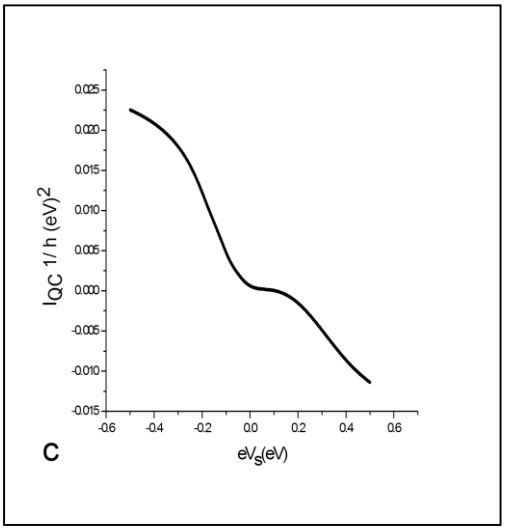
الشكل (5): (a) مركبات التيار $I^{\pm\sigma}_{Q\alpha}$. (b) مركبات قناتي البرم للحرارة $I^{\pm\sigma}_{Q}$. (c) تيار الحرارة للشحنة . (d) تيار الحرارة للبرم عندما $E_d = 0.04\ eV$ و $\Gamma_L = \Gamma_R = 0.04\ eV$ و $T_R = 200K$ و $T_L = 400\ K$ و $h = 0.2\ eV$.

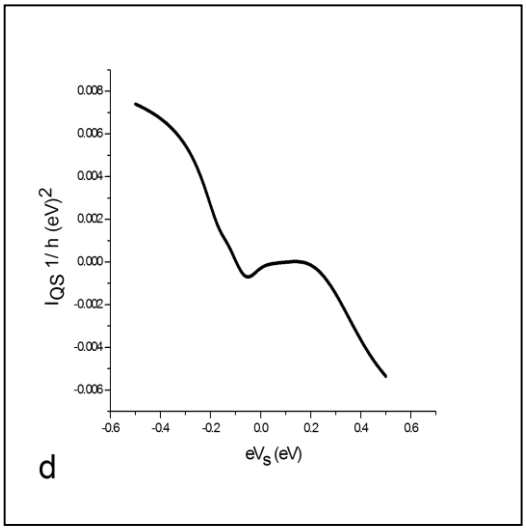


الشكل (6): (a) مركبات التيار $I_{Q\alpha}^{\pm\sigma}$. (b) مركبات قناتي البرم للحرارة $I_{Q}^{\pm\sigma}$. (c) تيار الحرارة للشحنة. (d) تيار الحرارة للبرم عندما $E_d = -0.04\ eV$ و $\Gamma_L = \Gamma_R = 0.04\ eV$ و $T_R = 200K$ و $T_L = 400\ K$ و $h = 0.05\ eV$.

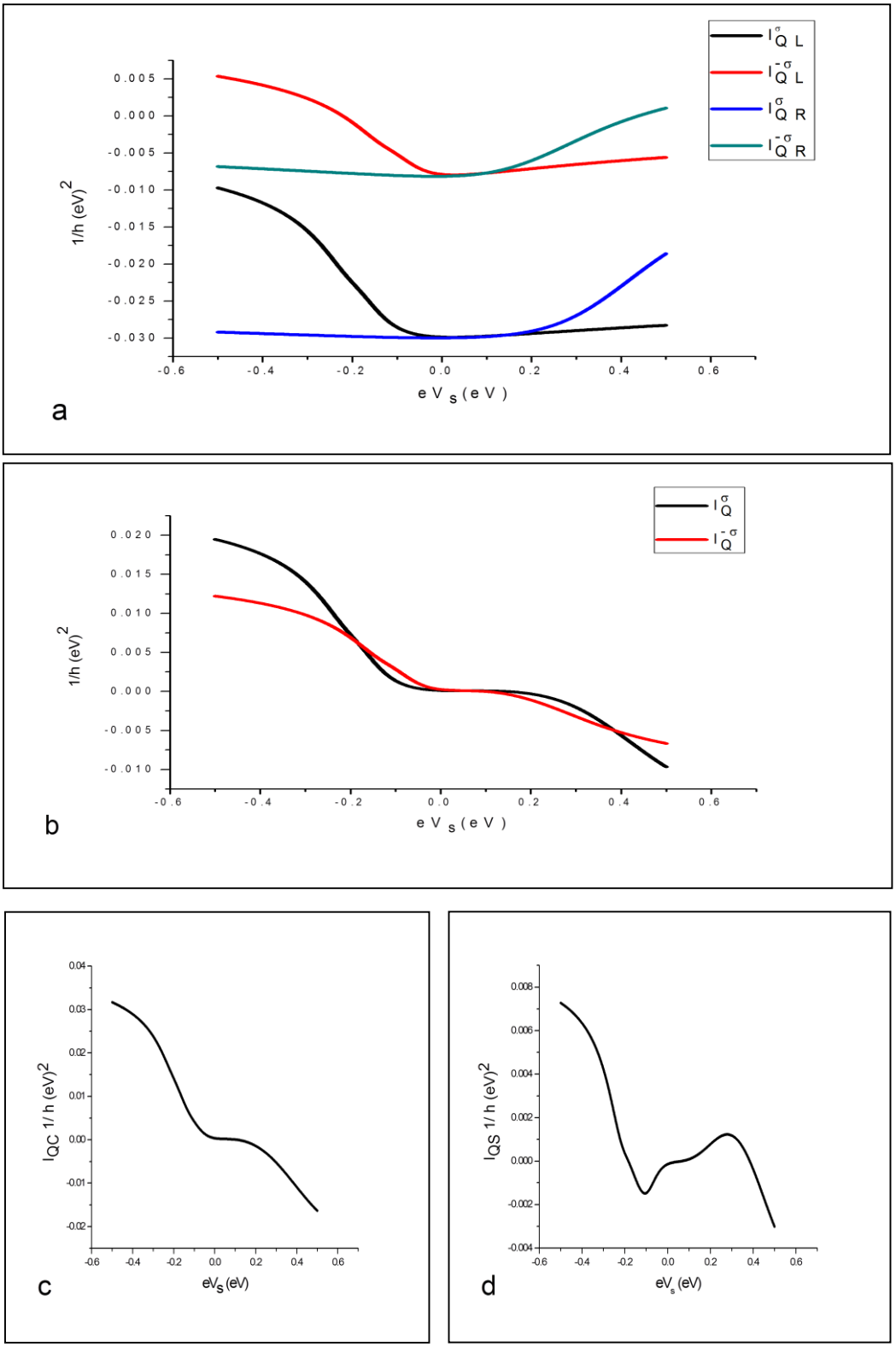




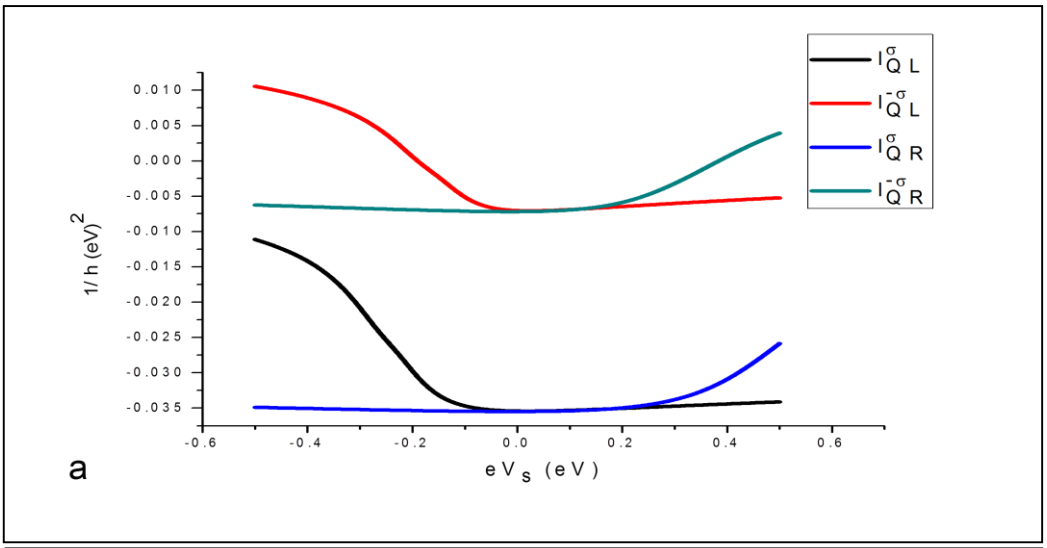


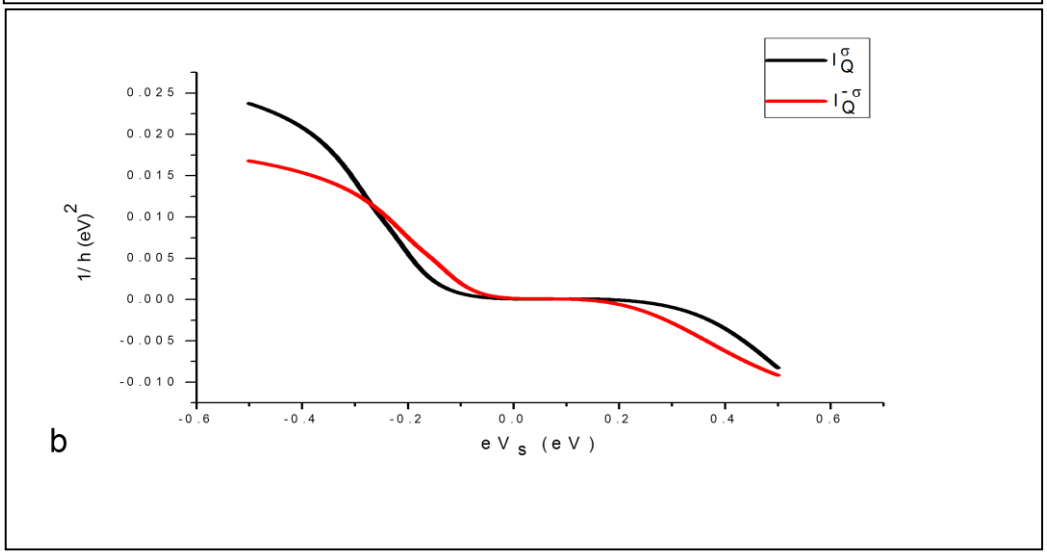


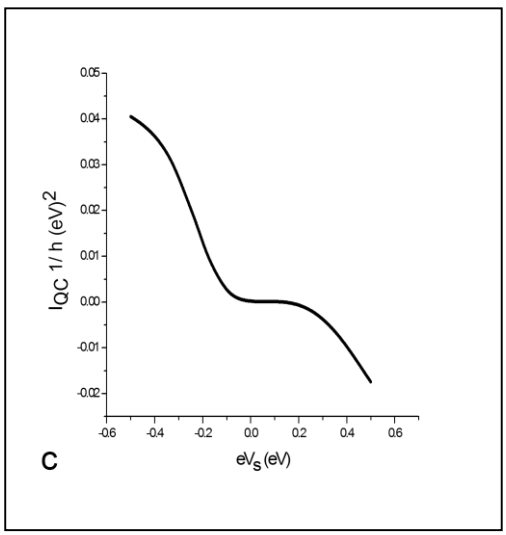
الشكل (7): (a) مركبات التيار $I^{\pm\sigma}_{Q\alpha}$. (b) مركبات قناتي البرم للحرارة $I^{\pm\sigma}_{Q}$. (c) تيار الحرارة للشحنة . (d) تيار الحرارة للبرم عندما $E_d = -0.04\ eV$ و $\Gamma_L = \Gamma_R = 0.04\ eV$ و $T_R = 200K$ و $T_L = 400\ K$ و h = $0.1\ eV$.

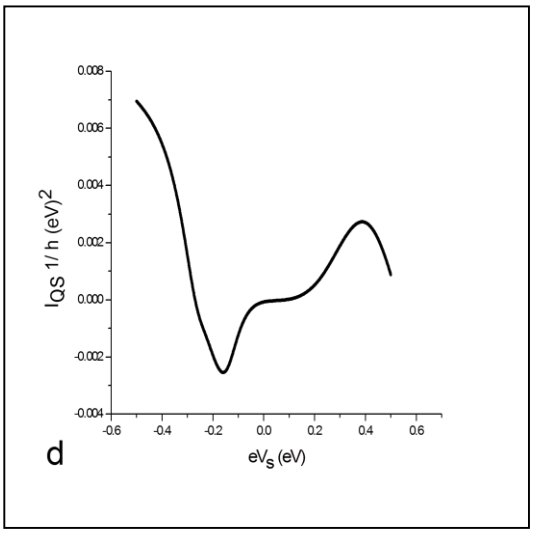


الشكل (8): (a) مركبات التيار $I_{Q\alpha}^{\pm\sigma}$. (b) مركبات قناتي البرم للحرارة $I_{Q}^{\pm\sigma}$. (c) تيار الحرارة للشحنة . (d) تيار الحرارة للبرم عندما $E_d = -0.04\ eV$ و $\Gamma_L = \Gamma_R = 0.04\ eV$ و $T_R = 200K$ و $T_L = 400\ K$ و $h = 0.15\ eV$.









الشكل (9): (a) مركبات التيار $I^{\pm\sigma}_{Q\alpha}$. (b) مركبات قناتي البرم للحرارة $I^{\pm\sigma}_{Q}$. (c) تيار الحرارة للشحنة . (d) تيار الحرارة للبرم عندما $E_d = -0.04\ eV$ و $\Gamma_L = \Gamma_R = 0.04\ eV$ و $T_R = 200K$ و $T_L = 400\ K$ و h = $0.2\ eV$.

References:

[1] M. Johnson, Solid State Commun. 150, 543 (2010).

[2] F. Giazotto, T.T Heikkila, A. Luukanen, A. M. Savin, and J. P.Pekola, Rev. Mod. Phys. 78, 217 (2016).

[3] J.-H. Jiang, Phys. Rev. E 90, 042126 (2014).

[4] R. S. Whitney, Phys. Rev. Lett. 112, 130601 (2014).

[5] E.g., J.-H. Jiang, O. Entin- Wohlman, and Y.Imry, Phys. Rev. B 87, 205420 (2013).

[6] R. Bosisio, C. Gorini, G. Fleury, and J.-L. Pichard, New J. Phys. 16, 095005 (2014).

[7] R. Bosisio, C. Gorini, G. Fleury, and J.-L. Pichard, Phys. Rev. Applied 3, 054002 (2015).

[8] A. Hewson, The Kondo Problem to Heavy Fermions (Cambridge University Press, New York, 1993).

[9] Mohannad Mohsen Marzoq, "Spin Transport Through Quantum Dot under Magnetic Field Effect" University of Basra, College of Education for Pure Scince(2015).

[10] Tomaz Rejec, Rok Zittko, Jernej Mravlje, and Anton Ramsak, PHYSICAL REVIEW B 85, 085117 (2012).

[11] H. Haug and A. P. Jauho, Quantum Kinetics in Transport and Optics of Semiconductors, (Springer, Berlin, 1996).

[12] Y. Meir and N. S. Wingreen, Phys. Rev. Lett. 68, 2512 (1992).

Study in the Spin Caloritronics for Quantum Dot in Magnetic Field: The Spin Heat Current

Reman Jamal Jasm J. M. AL-Mukh

Physics Department, Collage of Education for Pure Science, Basra University, Basra, Iraq.

Abstract:

In this research, we present model calculation to study and calculate the spin current which is considered as an entrance to study the spin thermoelectric properties of a quantum dot emended between two non-magnetic leads. With external magnetic field effects on the quantum dot, the quantum dot energy levels positions are related with magnetic field. Since, we are concerning to the spin caloritronics, the chemical potential of the leads will be determined by the spin bias and the temperature gradient on the leads. Our, treatment does not include temperature whishes usually low in nano devices and the coupling Strenght between the Quantum dot and each electrode is spin independent.

keywords: Quantum Dot, Electrothermal materials, Properties of spin transport, Spin heat current.

.